



תנועה שוות תאוצה: הקשר בין העתק הגוף לבין מהירותו

רשימת הציוד



- מסילת PASCO
- מחסום מגנטי
- עגלת דינמיקה
- ממשק PASCO
- חיישן תנועה
- מגבה מעבדתי (ג'ק)
- מד זווית מוצמד למסילה

תיאור המערכת ועיקרון הניסוי

עגלת דינמיקה נעה במורד המסילה המשופעת ומתנגשת במחסום מגנטי. אחרי ההתנגשות במחסום, העגלה נרתעת ממנו ועולה במעלה המסילה (אך בגלל החיכוך אינה מגיעה למקומה ההתחלתי), שוב יורדת – וכך הלאה, עד הדעיכה המוחלטת של תנועתה. מערכת מדידה ממוחשבת עוקבת אחרי תנועת העגלה.

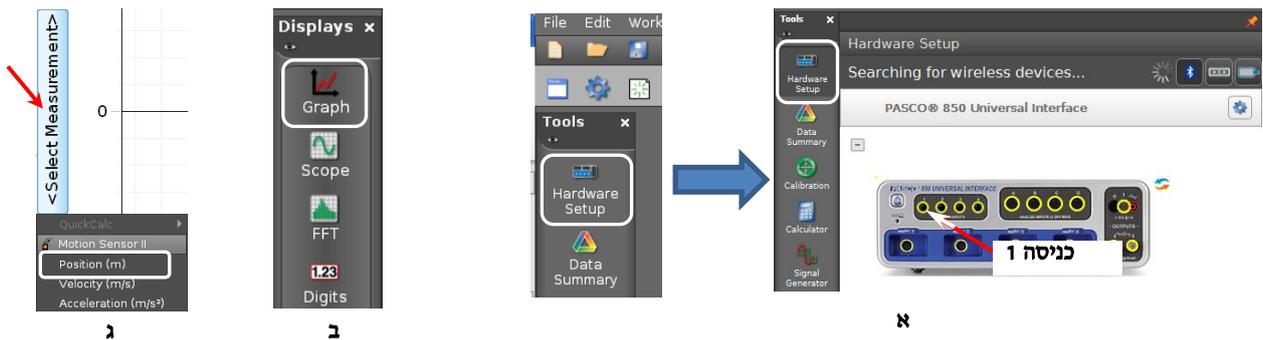
במהלך הניסוי העגלה משוחררת ממרחקים שונים מהמחסום. מערכת המדידה הממוחשבת מפיקה גרפים של מקום ומהירות העגלה כתלות בזמן. על סמך נתוני המדידות, מאמתים את הקשר בין מהירות העגלה v לבין ההעתק שלה Δx .

לפני ביצוע הניסוי:

1. סרטטו במחברת מערכות הצירים $x(t)$ ו- $v(t)$, אחת מתחת לשנייה. עבור הירידה והעליה הראשונות של העגלה (בהמשך - ירידה ועליה) בנו באופן איכותי גרפים המתארים את מקום העגלה ואת המהירות שלה כתלות בזמן. הקפידו לסנכרן בין צירי הזמן של הגרפים: כל קטע של גרף המהירות צריך להיות מתחת לקטע המתאים של גרף המקום.
2. רשמו ביטוי מתמטי המקשר בין ריבוע מהירות הגוף הנע בתאוצה קבועה, לבין ההעתק שלו. סרטטו סקיצת הגרף $v^2(\Delta x)$ המתאר קשר זה.

הכנת מערכת הניסוי

1. מניחים מגבה מעבדתי (ג'ק) במצב מקופל מתחת לקצה המסילה עליו מותקן חיישן התנועה. מכוונים באמצעות הגבהת הג'ק את זווית שיפוע המסילה לכ- 3° .
2. מפעילים את ממשק PASCO ומעלים תוכנת Capstone.
3. מגדירים בתוכנה את חיישן התנועה. לשם כך, בסרגל **Tools** (משמאל) מקליקים על צלמית **Hardware Setup** (מוקפת באיור 1א), מקליקים על כניסה 1 בתמונת הממשק (איור 1א) ובוחרים ברשימת החיישנים את חיישן התנועה **(Motion Sensor)**.



איור 1

4. סוגרים את **Hardware Setup** (מקליקים שוב על צלמית **Hardware Setup**).
5. מכינים מערכת צירים "מקום כתלות בזמן":
 - א. מקליקים קליק כפול על צלמית **Graph** בסרגל **Displays** בחלק הימני של המסך (איור 1ב).
 - ב. מקליקים על כותרת **<Select Measurement>** של הציר האנכי, וברשימה שתיפתח בוחרים מקום **(Position)** (איור 1ג).
6. מוסיפים למערכת הצירים את ציר המהירות: מקליקים על צלמית (6) (איור 4) ובציר שיתוסף מימין מגדירים מהירות **(Velocity)** בדומה להגדרת ציר המקום.
7. בסרגל **Controls** הנמצא בחלק התחתון של המסך מגדירים קצב דגימה של 40 Hz בעזרת החיצים (2) (איור 2).



איור 2

ביצוע המדידות



איור 3

כברירת מחדל, ראשית ציר המקום של חיישן תנועה נמצאת על פני המשטח המשדר. בניסוי זה יש להגדיר את ראשית ציר המקום בשנת "70 ס"מ" של סרגל המסילה. לשם כך מניחים את העגלה על המסילה כך שהדופן שלה הפונה למחסום תהיה מול שנת "70 ס"מ", מחזיקים אותה כפי שמודגם באיור (3) (על מנת שהיד לא תהווה הפרעה לחיישן התנועה) ולהגדרת ראשית ציר המקום לחצים על צלמית (3) (איור 2).

1. הניחו את העגלה על המסילה. הרחיקו אותה מהמחסום, כך שצדה הפונה אל המחסום ימצא מול שנת "70 ס"מ" של סרגל המסילה, והחזיקו אותה באצבע (איור 3). הריצו מדידות על ידי לחיצה על צלמית (1) בסרגל Controls (איור 2) ושחררו את העגלה. כשהעגלה תתחיל לרדת בפעם השנייה, אפשר לעצור את המדידות על ידי לחיצה חוזרת על צלמית (1).

2. שמרו את הפעילות (נתיב התיקה לשמירה יינתן על ידי המורה).

3. חזרו 7 פעמים נוספות על ההרצה שביצעתם, כאשר בכל פעם נוספת הקטינו את המרחק בין העגלה לבין המחסום בכ-2 ס"מ (לקביעת מיקום העגלה היעזרו בסרגל בשול המסילה).



איור 4

4. ניתוח תוצאות המדידות

הכינו טבלה בה תרשמו את העתק העגלה, המהירות המקסימלית שלה והתאוצה בכל אחת מההרצות. בניתוח תוצאות המדידות התמקדו בירידה הראשונה של העגלה.

מציאת העתק העגלה בגרף מקום כתלות בזמן, $x(t)$

1. לחצו על הצלמית (2) (המשולש הפוך - איור 4) ובחרו ברשימה את ההרצה הראשונה.

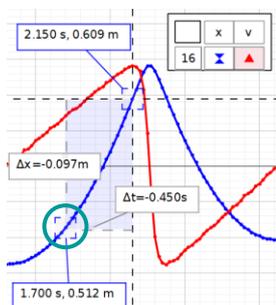
2. מצאו באמצעות גרף $x(t)$ את העתק העגלה ממקומה ההתחלתי עד לנקודה בה מהירותה מקסימלית. לשם כך:

א. הקליקו על גרף המקום והפעילו את קורא הקואורדינטות על ידי לחיצה על צלמית (5) (איור 4). גררו את קורא הקואורדינטות לאורך גרף המקום (הקפידו שהוא לא יקפוץ לגרף המהירות) לנקודה המתאימה למהירות המקסימלית של העגלה (היעזרו בקו המקווקו האנכי של קורא הקואורדינטות - איור 5א).

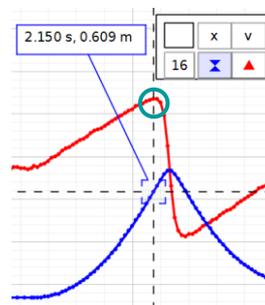
שאלה: מדוע העגלה מגיעה למהירות המקסימלית לפני שהיא מתנגשת במחסום?

ב. הקליקו על מרכז קורא הקואורדינטות במקש הימני של העכבר וברשימה שתפתח תבחרו את **Show Delta** (כלי המאפשר למדוד הפרשים בין שעורי הנקודות במערכת צירים) – יופיע מלבן שבאחד מקודקודיו נמצא קורא הקואורדינטות, ויוצגו הפרשי השיעורים של שתי נקודות הגרף בהן נמצאות פינות המלבן (איור 5ב).

ג. למציאת העתק העגלה בין מצב המנוחה לבין הנקודה בה מהירותה מקסימלית: אחזו במקש השמאלי של העכבר בפינת המלבן הנגדית לקורא הקואורדינטות (מוקפת בעיגול באיור 5ב) וגררו אותה לנקודה על הגרף $x(t)$ המתאימה לתחילת התנועה של העגלה. רשמו את העתק בטבלה שהכנתם.



א



ב

איור 5

סגרו את **Delta Tool**: הקליקו על מרכז קורא הקואורדינטות במקש הימני של העכבר ומחקו את סימון הכלי.

מציאת המהירות המקסימלית של העגלה בגרף המהירות כתלות בזמן, $v(t)$

גררו את קורא הקואורדינטות לנקודה בגרף $v(t)$ המתאימה למהירות המקסימלית של העגלה. רשמו את המהירות בטבלה.

מציאת תאוצת העגלה

1. למציאת תאוצת העגלה יש לפעול באופן הבא:

א. בחרו את גרף המהירות (הקליקו עליו).

ב. פתחו את כלי הבחירה: הקליקו על צלמית (3) (איור 4) - יופיע מלבן הבחירה שצבעו תואם את צבע הגרף. גררו את המלבן לגרף $v(t)$ ובאמצעות הזזת צלעותיו התאימו את מידות המלבן לקטע הגרף המתאר את ירידת העגלה.

ג. התאימו פונקציה קווית לקטע הגרף שבחרתם: הקליקו על צלמים (4) (המשולש הפוך, איור 4) ובחרו **Linear** ברשימת הפונקציות. היעזרו במשוואת הקו במציאת התאוצה של העגלה. רשמו את התאוצה בטבלה.

מצאו את ההעתק, המהירות המקסימלית והתאוצה של העגלה בשאר ההרצות. בחירת הרצה מתבצעת בדומה לבחירת ההרצה הראשונה (סעיף (1)).

הקשר בין העתק העגלה לבין מהירותה

1. הזינו בגיליון Excel את הטבלה שמילאתם והוסיפו לה עמודה בה יחושב ריבוע המהירות המקסימלית של העגלה.

2. חישבו ב-Excel את הממוצע של תאוצות העגלה שהתקבלו בכל ההרצות.

3. בנו גרף של ריבוע המהירות המקסימלית של העגלה כתלות בהעתק שלה. מהי המשמעות הפיזיקלית של שיפוע הגרף? האם צורת הגרף תואמת את ההשארה התיאורטית שלכם?

4. הציגו קו מגמה של הגרף יחד עם משוואתו ומצאו את תאוצת העגלה ממשוואת הקו. חישבו את הסטייה היחסית של תאוצה זו מהתאוצה הממוצעת שחושבה בסעיף (7).